



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 27 618 A 1**

⑥1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**F 16 S 3/08**  
B 21 F 27/00

②1 Aktenzeichen: 195 27 618.3  
②2 Anmeldetag: 30. 7. 95  
④3 Offenlegungstag: 6. 2. 97

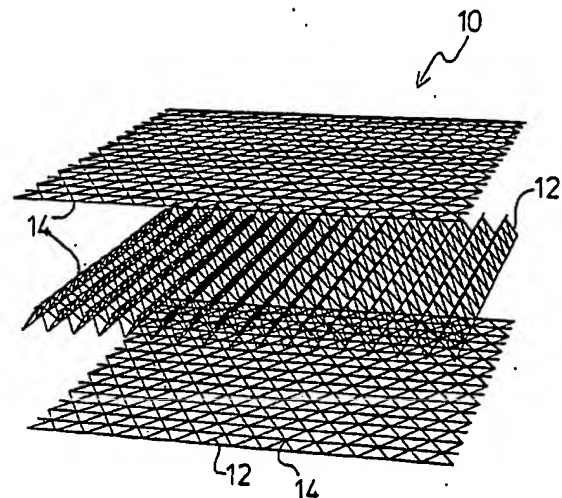
DE 195 27 618 A 1

⑦1 Anmelder:  
Priluck, Jonathan, Brighton, Mass., US  
  
⑦4 Vertreter:  
Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65189  
Wiesbaden

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder  
  
⑥6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
DE 27 20 278 C2  
DE 37 02 918 A1  
DE-OS 20 08 011  
HAVER, E.F., SCHÖNBAUER, G.: Drahtgewebe und  
Drahtgitter aus nichtrostenden Stahldrähten und  
NE-Metalldrähten. In: Draht, 32, 1981, 8, S.446-450;

⑥4 Gitterblockmaterial

⑤7 Es wird ein Strukturmaterial offenbart, welches einen Drahtgitteraufbau bzw. -gestalt hat. Das Strukturmaterial kann hergestellt werden, indem zuerst ein kontinuierlicher Draht auf einem Webstuhl aufbau gewoben wird. Wenn der Draht in ein Array von parallelen Drähten gewickelt ist, so wird er an Ort und Stelle befestigt und in Segmente aufgetrennt. Die Segmente werden dann in einem Rahmen angeordnet. Der Rahmen ordnet die Segmente unter relativen Winkeln an, so daß sie eine Matrix oder ein Netz bzw. Sieb bilden. Bei dem abschließenden Schritt der Herstellung werden die Drähte zusammengeschweißt, indem beispielsweise eine Schmiedepresse verwendet wird. Alternativ kann das Material auch dadurch hergestellt werden, daß zuerst Drahtsegmente in einem Paar von Rahmen gehalten und dann anschließend zusammengeschweißt werden. Das Strukturmaterial gemäß der Erfindung kann allein oder geschichtet unter Ausbildung eines mehrschichtigen Materials verwendet werden.



DE 195 27 618 A 1

## Hintergrund der Erfindung

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer US-Patentanmeldung der Serien Nr. 08/033,111, eingereicht am 18. März 1993, sowie auf einer hierzu eingereichten Continuation-in-Part-Anmeldung.

Die Erfindung bezieht sich auf Baumaterialien bzw. Strukturbauteile und ein Verfahren zu ihrer Herstellung. Genauer gesagt, bezieht sich die Erfindung auf ein strukturiertes Material bzw. Baumaterial, welches einen mehrdimensionalen Gitteraufbau hat, und ein Verfahren zu dessen Herstellung.

## Beschreibung des Standes der Technik

Auf dem Gebiet der Materialwissenschaften bildet die Suche nach leichteren und festeren Materialien seit vielen Jahren ein Hauptziel. Derzeit hat sich die Forschung auf diesem Gebiet in erster Linie auf die Verwendung von Metallen, Kunststoffen und Keramik konzentriert. Diese Forschung hat zur Verbesserung vorhandener Technologien geführt. Zusätzlich hat sie neue Materialien und Verfahren hervorgebracht, um die sich ändernden ingenieurtechnischen und wirtschaftlichen Bedürfnisse der modernen Gesellschaft zu erfüllen.

Ein etwas jüngere Aktivität auf dem Gebiet der Materialwissenschaften, soweit sie sich auf bessere Eigenschaften im Verhältnis Festigkeit zu Gewicht bezieht, hat sich in erster Linie auf Polymere auf Kohlenwasserstoffbasis und die entsprechenden chemischen Verfahren konzentriert. Auch wenn die aufgrund dieser Forschung entwickelten Materialien und Verfahren unter den gewählten Bedingungen sowohl zwecklich und nützlich bzw. effektiv sind, befassen sie sich doch typischerweise nicht mit dem Problem der Verbesserung von Strukturen höherer Ordnung. Weiterhin bleibt die Wiederholung bzw. Reproduktion der metallischen, mechanischen Eigenschaften unter Verwendung chemischer Formulierungstechniken auf Kohlenstoffbasis Ziel vieler dieser Materialien und Verfahren. Im Ergebnis weisen viele dieser Materialien nur eine nominelle Verbesserung gegenüber den leichter verfügbaren metallischen Baumaterialien bzw. strukturellen Elementen auf.

## Zusammenfassung der Erfindung

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein hochfestes Baumaterial mit geringem Gewicht bereitzustellen.

Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Baumaterial bzw. Strukturmaterial mit geringem Gewicht bereitzustellen, welches als ein mehrdimensionales Gitter ausgestaltet ist.

Außerdem ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines hochfesten Aufbaumaterials von geringem Gewicht bereitzustellen.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein Verfahren zum Herstellen eines hochfesten, geringgewichtigen Baumaterials bereitzustellen, welches als ein mehrdimensionales Gitter ausgestaltet ist.

Das Baumaterial gemäß der vorliegenden Erfindung ist gekennzeichnet durch ein Drahtgitter. Typischerweise ist das Drahtgitter in Form gleichmäßig gestapelter Pyramiden in einer dreidimensionalen Anordnung aus-

gestaltet. Jede Pyramide besteht aus acht Drahtsegmenten, die an ihren Schnitt- bzw. Kreuzungspunkten miteinander verbunden sind. Die Drahtsegmente sind Teil einer durchgehenden Drahtes. Auch wenn die Ausgestaltung des Materials derart ist, daß es für das bloße Auge massiv bzw. fest aussieht, besteht es tatsächlich aus einem dreidimensionalen Netzwerk feiner Drähte. Diese Drähte bestehen typischerweise aus Messing oder rostfreiem Stahl. Vorzugsweise ist das Material aus Strukturteilen zusammengesetzt, die etwa 0,005 Zoll bis 0,1 Zoll [0,1 mm—2,5 mm] im Durchmesser haben und 0,03 Zoll—0,09 Zoll lang sind. Das erfindungsgemäße Material ist jedoch nicht auf die vorstehend erwähnten Materialien und Drahtdurchmesser beschränkt. Insbesondere soll der Begriff "Draht" im Sinne der vorliegenden Erfindung sich nicht nur auf Metalledrähte beziehen, sondern alle Arten länglicher Filamente umfassen, unabhängig davon, aus welchem Material sie bestehen, wobei nur der konkrete Anwendungszweck der Materialauswahl Grenzen setzt. Auch für mechanisch schwächere Materialien als die oben erwähnten metallischen Drähte bringt jedoch die erfindungsgemäße Struktur eine deutliche Verbesserung der mechanischen Festigkeit des Gitterstrukturmaterials im Verhältnis zum Gewicht, wenn das Material mit anderen, bekannten Strukturen, zum Beispiel in Form von homogenem Massivmaterial, verglichen wird. Auch der angegebene, bevorzugte Durchmesserbereich für die Drähte kann ohne weiteres um einen Faktor 10 über- oder unterschritten werden. Gerade mit sehr dünnen Drähten im Bereich von 10 µm bis 250 µm Durchmesser ergeben sich möglicherweise interessante Anwendungsgebiete für die Herstellung extrem stabiler und dennoch leichter und dünnwandiger Bauteile.

Ein aus Stahldraht hergestelltes Material gemäß der vorliegenden Erfindung hat näherungsweise ein Fünftel der Dichte von massivem Stahl, ist aber dennoch von vergleichbarer Festigkeit. Diese Eigenschaften beruhen auf einer Vielzahl von Faktoren. Beispielsweise werden auf das Material wirkende Kräfte in derselben Art und Weise überführt, wie Kräfte bei einem Fachwerk oder Tragwerk mit konventionellen Abmessungen. Darüber hinaus führt die kleine Querschnittsfläche der Drähte zu einem großen Oberfläche : Volumen Verhältnis. Zusätzlich vermindert die Isolation von Elementen das Fortschreiten von Rissen oder anderen Defekten durch das Material und trägt auch ebenso zu der gleichmäßigen Verteilung bzw. Übertragung von Lasten bei. Schließlich führt das kleine Querschnittsmaß der Drähte, die verwendet werden, um das Material herzustellen, vorzugsweise mit weniger als 0,01 Zoll [0,25 mm] im Durchmesser, zu überlegenen Festigkeitseigenschaften, da die kleine Korngröße der Drähte ein Rißfortschreiten verhindert.

Die Erfindung befaßt sich auch mit Verfahren zur Herstellung derartiger Elemente.

In der allgemeinsten Form läßt sich das Material dadurch charakterisieren, daß es aus einer räumlichen Gitterstruktur aufgebaut ist, wobei es zunächst auf die chemisch-physikalischen Eigenschaften des verwendeten Materials nicht so sehr ankommt. Die Erfindung geht von der Überlegung aus, welche Struktur eines Baumaterials ein möglichst günstiges Verhältnis von Steifigkeit bzw. Biegefestigkeit zu dem Gewicht des Strukturmaterials liefert. Die Komponenten, d. h. die Drähte aus welchen das Strukturmaterial aufgebaut ist, sollten allerdings eine gute Druck- und Zugfestigkeit haben. Dabei müssen die "Drähte" aber nicht notwendigerweise aus

einem metallischen Material bestehen, sondern können auch aus einem Kunststoff oder aus Naturfasern bestehen, die entsprechend miteinander verschweißt oder verklebt werden. Zwar wird man mit metallischen Drähten im allgemeinen höhere Festigkeiten erreichen, andererseits kann jedoch bei Verwendung anderer Baustoffe wie Kunststoffe oder Naturfasern unter Umständen ein extrem geringes Gewicht bei immer noch hinreichender Festigkeit erzielt werden, wobei mit metallischen Materialien möglicherweise ein entsprechend geringes Gewicht nicht erreichbar ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, daß mindestens drei Gruppen von Drähten oder Filamenten (wobei nicht metallische Materialien eingeschlossen sein sollen) in jeder Gruppe parallel angeordnet werden und unter einem Winkel zwischen  $10^\circ$  und  $90^\circ$  relativ zueinander ausgerichtet übereinander gelegt oder miteinander verwoben werden, wobei diese Gruppen von Drähten oder sonstigen Filamenten an ihren Kreuzungspunkten vorzugsweise durch Verschweißen oder Verkleben miteinander verbunden werden. Bei einem auf diese Weise hergestellten, flachen bzw. ebenen Material bilden die drei Gruppen von parallelen Drähten oder Filamenten eine Struktur aus flächendeckend aneinanderhängenden Dreiecken. Diese können entlang paralleler, in gleichen Abständen verlaufenden Linien gefaltet werden, wobei vorzugsweise die Drähte aus einer der Gruppen paralleler Drähte die Faltlinien definieren. Ohne Beschränkungsabsicht und lediglich zur Vereinfachung der Beschreibung soll im folgenden nur noch von Drähten gesprochen werden, wobei dieser Begriff auch nicht metallische Materialien umfassen soll bzw. sich analog auf nicht-metallische Materialien lesen läßt.

In der bevorzugten Ausführungsform wird das aus den drei Gruppen paralleler Drähte hergestellte Dreiecksgitter abwechselnd entlang benachbarter Drähte aus einer der Gruppen zieharmonikaartig gefaltet. Das so gefaltete Gitter erscheint in einer Seitenansicht zickzackförmig mit zwei parallelen Ebenen von Faltlinien, die hier zur besseren Unterscheidung als obere und untere Ebene bezeichnet werden sollen.

Je nach Struktur des Dreiecksgitters sind ganz bestimmte Faltwinkel bevorzugt. Der Faltwinkel bezeichnet dabei den Winkel zwischen zwei Ebenen, welche sich in einer der Faltlinien einer Ebene schneiden und durch die beiden hierzu benachbarten Faltlinien der anderen Ebene verlaufen.

Besonders bevorzugt ist dabei eine Variante der Erfindung, bei welcher der Faltwinkel so gewählt wird, daß der Abstand benachbarter Faltlinien in der oberen und auch der Abstand benachbarter Faltlinien in der unteren Ebene gerade gleich dem Knotenabstand der Knoten- bzw. Schnittpunkte der Drähte entlang der Faltlinien ist, oder daß zumindest diese Abstände zwischen Falten und Knoten im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen zueinander stehen. Dies ermöglicht es insbesondere, daß zwei derartige gefaltete Gitter um  $90^\circ$  gegeneinander verdreht aufeinandergelegt werden können, wobei alle Knotenpunkte oder jedenfalls eine Vielzahl von Knotenpunkten der unteren Ebene des einen Gitters mit den Knotenpunkten der oberen Ebene des anderen Gitters zur Deckung gebracht werden können, wobei eine Verbindung zwischen diesen benachbarten Gittern auch in diesen Knotenpunkten erfolgen soll. Dies führt zu einer besonders stabilen räumlichen Struktur.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die ebenen Gitter aus gleichseitigen

Dreiecken aufgebaut, d. h. die drei Gruppen von Drähten schneiden sich wechselseitig unter Winkeln von  $60^\circ$ , wobei die Anordnung vorzugsweise so erfolgt, daß die dritte Gruppe paralleler Drähte genau entlang der Kreuzungspunkte der anderen beiden Gruppen verläuft, was jedoch ansonsten nicht zwingend der Fall sein muß.

Bei einer solchen Ausführungsform beträgt der bevorzugte Faltwinkel, bei welchem die Abstände benachbarter Faltlinien einer Ebene gleich den Abständen der Knotenpunkte entlang der Faltlinien sind, in etwa  $51,3^\circ$ .

Eine andere, hiervon abweichende Ausführungsform, die für bestimmte Anwendungsverhältnisse bevorzugt sein kann, ist aus drei Gruppen von Drähten aufgebaut, welche relativ zueinander so ausgerichtet sind, daß sich nicht gleichseitige, wohl aber gleichschenklige Dreiecke bilden, bei welchen die Schenkel deutlich länger sind als die Grundseite. Dies bedeutet, daß sich zwei Gruppen der Drähte unter einem spitzeren Winkel als  $60^\circ$  miteinander schneiden, während die dritte Gruppe von Drähten mit den beiden ersten einen Winkel von mehr als  $60^\circ$  einschließt und durch die Schnittpunkte der ersten beiden Gruppen verläuft. Dabei bildet die letztgenannte dritte Gruppe von Drähten auch die Faltlinien, wobei durch das Falten ebenso wie bei der vorher beschriebenen Ausführungsform eine räumliche Struktur aus Pyramiden entsteht, denen lediglich noch zwei gegenüberliegende Grundseiten fehlen. Bei der letztgenannten Ausführungsform mit dem bevorzugten Faltwinkel sind die entstehenden Pyramiden höher und spitzer und die obere und untere Ebene sind weiter beabstandet als bei der vorher genannten Ausführungsform, die aus gleichseitigen Dreiecken aufgebaut ist. Auch in diesem Fall können zwei senkrecht zueinander verdrehte Gitter aufeinandergelegt und mit ihren Knotenpunkten zur Deckung gebracht und verbunden werden, wenn der oben erwähnte, bevorzugte Faltwinkel eingehalten wird, der von der genauen Form der Dreiecke abhängt, aus welchen das betreffende ebene Gitter aufgebaut ist. Durch die Verbindung zweier solcher, kreuzweise übereinandergelegter Faltgitterstrukturen entstehen auch die gewünschten Pyramiden mit vollständig umlaufenden Grundkanten. Unabhängig von den aufeinander zu liegenden Faltgittern können jedoch auch ebene Gitter mit den Faltgittern verschweißt werden, wobei diese ebenen Gitter genau die Struktur der Knotenpunkte der oberen oder unteren Ebene der Faltgitter haben sollten. Bei den vorstehend beschriebenen Dreiecksgittern entstehen durch das Falten in der oberen und unteren Ebene jeweils rechteckige Gitterstrukturen und mit dem bevorzugten Faltwinkel die Struktur eines Quadratgitters. Insbesondere kann gemäß der vorliegenden Erfindung auch ein Aufbau aus mehreren Lagen von Faltgittern hergestellt werden, wobei wahlweise auch passende Lagen ebener Gitter, z. B. Rechteckgitter, dazwischen gefügt werden können. Wenn zwischen zwei Faltgitter ein ebenes Gitter gelegt wird, so kann die Verdrehung der Faltgitter um  $90^\circ$  zueinander entfallen und man ist in diesem Fall auch nicht auf die Einhaltung des bevorzugten Faltwinkels angewiesen.

Im folgenden werden noch zwei Verfahrensweisen zur Herstellung von aus gleichseitigen Dreiecken aufgebauten ebenen Gittern und entsprechenden Faltgittern beschrieben.

Gemäß einer ersten Verfahrensweise beinhaltet das Verfahren gemäß der Erfindung das Bereitstellen einer Ausrüstung, die in der Lage ist, eine Reihe von Gleitblöcken und einen Webrahmen aufzunehmen, in wel-

chem die Gleitblöcke angeordnet werden können. Als nächstes werden feine Drähte an dem Webrahmen befestigt und dann gewoben. Im Anschluß an das Weben werden die Drähte zusammengeschweißt. Die daraus hervorgehenden Bahnen bzw. das Bahnmaterial kann dann in der gewünschten Weise verwendet oder soweit wie nötig geformt werden, um ein gewelltes Material zu erzeugen. In einer alternativen Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung kann das Material gemäß der Erfindung in länglichen Abschnitten und Verwendung passender Halterungs- und Schweißaufbauten hergestellt werden. Diese länglichen Abschnitte können dann gewellt oder nach Wunsch geformt werden. Die einzelnen Schritte dieser Verfahren gemäß der Erfindung werden im einzelnen weiter unten diskutiert werden.

Es wird jetzt auf ein erstes Verfahren gemäß der Erfindung Bezug genommen, wobei in einem ersten Schritt ein Rahmen bzw. Spannrahmen und verschiedene Gleitblöcke montiert werden. Diese Vorrichtungen dienen dazu, die Drähte unter Spannung und vor dem Schweißen in der passenden Anordnung zu halten. Der Spannrahmen ist ein im wesentlichen flacher Ring, der drei Sätze von gegenüberliegenden Bahnen mit T-förmigen Schlitten hat, die in Intervallen von 120° angeordnet sind. Die Gleitblockaufbauten, die so bemessen und geformt sind, daß sie in die Bahnen bzw. Schienen des Spannrahmens passen, haben Reihen von parallelen Nuten, um die Drähte einzufangen und sie exakt an Ort und Stelle zu halten. Im nächsten Schritt wird der Webrahmen, der aus drei genuteten Ständern auf einer sich drehenden, dreieckigen Plattform besteht, vorbereitet. Genauer gesagt, wird der Webrahmen derart vorbereitet, daß er drei Pfosten bzw. Ständer einschließt, die Positionierflächen haben, auf welchen die Gleitblockaufbauten verriegelt werden, bevor der Draht von der Spule abgezogen wird. Während der Spulrahmen bzw. Webrahmen und damit auch die Ständer sich drehen, läuft der Draht nach unten durch die Nuten der Gleitblöcke weiter, so daß nach einer Umdrehung der Draht in die nächst tiefe Nut ein läuft.

Sobald der Draht auf dem Web- bzw. Spulrahmen angeordnet ist, wird der Draht neben den Gleitblöcken abgetrennt. Als nächstes werden die Gleitblöcke auf dem zuvor vorbereiteten Rahmen montiert, so daß sie ein Drahtnetz oder eine Matrix bilden. Die Knotenpunkte der Drahtmatrix, d. h. die Punkte, an welchen die Drähte einander überlappen bzw. aufeinanderliegen, werden dann unter Verwendung einer Schmiedepresse miteinander verbunden. Die Schmiedepresse führt gleichmäßig Hitze und Druck auf alle Verbindungen gleichzeitig zu, um an jedem Knotenpunkt ein Verschweißen zu erreichen. Sobald alle Knotenpunkte miteinander verbunden sind, kann das Material von den Gleitblöcken und dem Spannrahmen abgenommen werden. Das so unter Verwendung des Verfahrens der Erfindung hergestellte flache Material kann isoliert als Baumaterial verwendet werden. Als Alternative kann das entstehende Material unter Verwendung einer Presse, eines Preßstößels und einer Matrize gebogen bzw. geknickt werden, oder durch Hindurchtreten durch einen Satz von Sägezahnwalzen, um gewellte bzw. zieharmonikartig gefaltete Bahnen zu bilden. Diese letztere Material kann abwechselnd mit flachen Bahnen des Materials gestapelt und mit diesen verbunden werden, um ein dickeres dreidimensionales Material zu bilden.

Zu Beginn eines alternativen Verfahrens gemäß der Erfindung wird ein Satz von Drähten auf einem zweiten

Halterahmen positioniert. Als nächstes wird ein Draht auf einem ersten Halterahmen angeordnet. Die ersten und zweiten Halterahmen werden dann einander gegenüberliegend derart bewegt, daß die Drähte des zweiten Halterahmens unter einem relativen Winkel von etwa 60° zu dem Draht auf dem ersten Rahmen angeordnet sind. An den Schnittpunkten werden die Drähte des zweiten Rahmens mit dem Draht auf dem ersten Rahmen verschweißt. Das Schweißen kann Draht für Draht vorgenommen werden oder in Gruppen, je nachdem wie es gewünscht ist. Wenn das Schweißen vollendet ist, werden die Drähte in dem zweiten Rahmen vorgezogen, so daß der Draht in dem ersten Rahmen in eine benachbarte Nut bewegt werden kann. Dann wird ein zweiter Draht in dem ersten Rahmen angeordnet und der Schweißvorgang wird wiederholt. Dieser Vorgang wird fortgesetzt, bis ein Unteraufbau mit gewünschten Maßen aus zwei Sätzen von verschweißten Drähten hergestellt ist.

In der nächsten Phase dieses Verfahrens der Erfindung wird ein dritter Satz von Drähten an den vorstehend diskutierten Unteraufbau aus zwei Drähten geschweißt. Wiederum wird ein Draht in dem ersten Halterahmen angeordnet. Die ersten und zweiten Halterahmen werden dann in eine Position einander gegenüberliegend bewegt, so daß alle Drähte unter relativen Winkeln von etwa 60° ausgerichtet sind. Das heißt so, daß eine Reihe aus gleichseitigen Dreiecken gebildet wird. An den Schnittpunkten werden die Drähte wiederum miteinander verschweißt. Wie oben erwähnt, kann das Verschweißen Draht für Draht vorgenommen werden oder in Gruppen, ganz wie es gewünscht ist. Wenn das Schweißen der Drähte vollendet ist, wird das fertiggestellte Material von den Halterahmen gelöst.

Das unter Anwendung des alternativen Verfahrens der Erfindung hergestellte Material kann auch isoliert für sich als strukturelles Material bzw. Bau- und Konstruktionsmaterial verwendet werden. Wahlweise kann das so hergestellte Material auch unter Verwendung einer Presse, eines Pressenstempels und einer Matrize oder durch Hindurchschicken durch einen Satz von Sägezahnwalzen gebogen bzw. geknickt werden, so daß gewellte bzw. gezahnte oder gezackte Bahnen gebildet werden. Dieses letztere Material kann abwechselnd mit flachen Bahnen des Materials gestapelt und mit diesem verbunden werden, um ein dickeres dreidimensionales Material zu bilden.

Bei einer anderen Verfahrensweise zur Herstellung des Gittermaterials, die nicht auf einen 60°-Winkel zwischen den Gruppen von Drähten beschränkt ist, wird eine Reihe paralleler Drähte gespannt, welche durch eine Schweißvorrichtung parallel in ihrer Längsrichtung vorbewegt werden können. Die entsprechende Vorrichtung enthält außerdem Führungs- und/oder Spannvorrichtungen, um die erste Gruppe von Drähten parallel zu halten und enthält weitere Führungs- und Spannvorrichtungen für eine zweite Gruppe von parallelen Drähten, die sich unter einem Winkel zu der erstgenannten Gruppe von Drähten erstrecken, wobei dieser Winkel zwischen 10° und 90° liegen kann. Schließlich weist die entsprechende Vorrichtung auch eine dritte Gruppe von Führungselementen oder Spannvorrichtungen auf, mit deren Hilfe eine dritte Gruppe paralleler Drähte so ausgerichtet wird, daß sie sich zu den beiden erstgenannten Gruppen unter einem Winkel zwischen 10° und 90° erstreckt, vorzugsweise unter demselben Winkel zu der ersten Gruppe, den auch die zweite Gruppe mit der ersten Gruppe einschließt. Dabei sind die Führungs-

und Spannvorrichtungen so angeordnet, daß die drei Gruppen von Drähten jeweils gemeinsame Schnitt- bzw. Überlagerungspunkte aufweisen. Ein Verschweißen kann nacheinander, d. h. zunächst zwischen Drähten der ersten und zweiten Gruppe und anschließend zwischen Drähten der dritten und zweiten Gruppe erfolgen, es kann jedoch auch gleichzeitig an allen drei Gruppen bzw. einzelnen Drähten hierfür vorgenommen werden. Anschließend werden die Drähte aus entsprechenden Führungen herausgehoben und um eine Strecke weiterbewegt, die dem Arbeitsbereich der Schweißvorrichtung entspricht.

Dabei können die Gruppen von Drähten einfach schichtweise übereinander angeordnet werden, bei Bedarf können sie jedoch auch miteinander verwoben werden, was allerdings den Herstellungsvorgang komplizierter macht.

Auf der Basis der erfindungsgemäßen Prinzipien können jedoch nicht nur ebene Strukturmaterialien, sondern auch räumlich gekrümmte Gegenstände, wie z. B. Rohre oder dergleichen hergestellt werden. Hierzu kann z. B. eines der oben beschriebenen Falzgitter hergestellt und anschließend zu einem Rohr bzw. Rohrschnitt gebogen werden. In diesem Fall erfolgt jedoch das Verbinden mit einem weiteren Falzgitter oder auch mit einem oder zwei ebenen Gittern auf der Innen- und/oder Außenseite des zu einem Rohr gebogenen Falzgitters erst nach dem Biegen. Insbesondere ist in diesem Fall darauf zu achten, daß wegen Krümmung der Abstand der Knotenpunkte auf der Innenseite des gebogenen Falzgitters ein anderer ist als auf der Außenseite. Zweckmäßigerweise werden deshalb ebene Gitter und Falzgitter mit unterschiedlichen Rastermaßen erzeugt, die für einen gegebenen Rohrdurchmesser gerade mit den Knotenpunkten eines gebogenen Falzgitters zur Deckung gebracht werden können. Bevorzugt ist deshalb das Herstellen bestimmter, fester Rohrdurchmesser, für die entsprechend große Anzahlen passender Falzgitter und ebener Gitter hergestellt werden können.

Andere allgemeine und spezielle Ziele der Erfindung sind teilweise offensichtlich und werden teilweise im folgenden deutlich werden.

Die Erfindung weist dementsprechend ein Verfahren und eine Vorrichtung auf, die Schritte, Konstruktionsmerkmale, Kombinationen von Elementen und Anordnungen von Teilen aufweisen, die dafür ausgelegt sind, derartige Schritte zu bewirken, wie es beispielhaft in der folgenden detaillierten Offenbarung beschrieben wird, wobei der Schutzzumfang der Erfindung durch die Patentansprüche angegeben wird.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

Für ein vollständigeres Verständnis der Natur und der Aufgaben der Erfindung wird auf die folgende genaue Beschreibung und auf die zugehörigen Zeichnungen Bezug genommen, von denen

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform des Konstruktionsmaterials der Erfindung ist,

Fig. 2 eine vergrößerte Draufsicht von oben auf einen Ausschnitt des Konstruktions- bzw. Strukturmaterials nach Fig. 1 ist,

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform des Strukturmaterials der Erfindung ist, welche einen gewellten bzw. geriffelten Querschnittsaufbau hat,

Fig. 4 eine perspektivische Explosionsdarstellung ei-

ner weiteren Ausführungsform des Strukturmaterials der Erfindung ist, welche abwechselnde Schichten der in den Fig. 1—3 dargestellten Ausführungsformen der Erfindung hat,

Fig. 5 eine perspektivische Ansicht der Ausführungsform des Strukturmaterials der in Fig. 4 dargestellten Erfindung in zusammenmontiertem Zustand ist,

Fig. 6 eine perspektivische Ansicht des Rahmens bzw. Spannrahmens ist, der für die Herstellung des Strukturmaterials der Erfindung verwendet wird, indem ein erstes Verfahren der Erfindung verwendet wird, wobei die Gleitblöcke und Drahtfilamente in einer Position zum Schmieden sind,

Fig. 7 eine perspektivische Ansicht des Webstuhls bzw. Spulrahmens ist, der für die Herstellung des Strukturmaterials der Erfindung verwendet wird, indem ein erstes Verfahren gemäß der Erfindung angewendet wird, wobei der Draht auf einen Abschnitt der Gleitblöcke gewoben wird,

Fig. 8A und 8B Draufsichten von oben auf erste und zweite Halterahmen sind, die verwendet werden, um das Strukturmaterial der Erfindung herzustellen, indem das alternative Verfahren gemäß der Erfindung verwendet wird.

Fig. 9 ein ebenes Gitter, welches aus gleichschenkeligen Dreiecken mit kleinem spitzen Winkel zusammengesetzt ist.

Fig. 10 schematisch die mit einem Faltvorgang verbundene Strukturänderung.

Fig. 11 eine Draufsicht auf ein gefaltetes Gitter mit bevorzugtem Faltwinkel, so daß die Knotenpunkte einer Ebene ein Quadratgitter bilden, und

Fig. 12 einen Ausschnitt aus Fig. 11 in perspektivischer Darstellung.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

Es wird jetzt zunächst auf die Fig. 1—8 Bezug genommen, in welchen gleiche Bezugszeichen sich auf gleiche Teile beziehen, und in welchen ein Strukturmaterial 10 veranschaulicht ist, welches die vorliegende Erfindung verwirklicht. Das Strukturmaterial 10 wird aus einem Gitter bzw. Netz aus feinen Drahtsegmenten 12 hergestellt, die an ihren Knotenpunkten 14 miteinander verbunden sind. Die feinen Drahtsegmente 12 sind Abschnitte eines kontinuierlichen Drahtes 16.

Wie in den Fig. 1—5 dargestellt wird, ist das Strukturmaterial 10 gekennzeichnet durch ein Gitter aus feinen Drahtsegmenten 12. Wie in den Fig. 1—3 dargestellt wird, kann das Strukturmaterial 10 eben oder gewellt bzw. im Querschnitt gezackt sein, in Abhängigkeit von der vorgesehenen technischen Anwendung. In größeren, komplexeren Ausführungsformen der Erfindung, wie sie in den Fig. 4 und 5 dargestellt sind, hat das Strukturmaterial 10 einen mehrschichtigen Aufbau, der aus gleichförmig gestapelten Pyramiden 18 in einer dreidimensionalen Anordnung besteht. Jede Pyramide 18 besteht aus acht Drahtabschnitten 12, die an ihren Knotenpunkten 14 miteinander verbunden sind. In all diesen Ausführungsformen bestehen die Drahtsegmente 12 typischerweise aus Messing, rostfreiem Stahl oder aus EDM-Draht. Vorzugsweise haben die feinen Drähte 12 einen Durchmesser zwischen 0,005 Zoll und 0,01 Zoll [0,125—0,254 mm]. Weiterhin sind die Drahtabschnitte 12 typischerweise zwischen 0,02 Zoll und 0,1 Zoll [0,5—2,5 mm] lang. Ein derzeit bevorzugtes Drahtmaterial hat einen Durchmesser von 0,08 Zoll [etwa 0,2 mm] und ist aus rostfreiem Stahl hergestellt.



Die Erfindung zieht auch alternative Methoden für die Herstellung des Strukturmaterials 10 in Betracht. Ein erstes Verfahren verwendet Rahmen- bzw. Spannrahmenaufbauten 22 und Webrahmenaufbauten 26, die weiter unten im Detail beschrieben werden. Ein alternatives Verfahren verwendet Halterahmen 70 und 72, die in den Fig. 8A und 8B dargestellt sind, um das Material gemäß der Erfindung herzustellen.

Zu Beginn eines ersten Verfahrens zur Herstellung des Materials der Erfindung ist ein Rahmen 22 vorgesehen, der dafür ausgelegt ist, eine Reihe von Gleitblöcken 24 aufzunehmen. Zusätzlich wird ein Webrahmen 26, in welchem die Gleitblöcke 24 während des anfänglichen Webens angeordnet werden können, vorbereitet. Im nächsten Schritt des Verfahrens der Erfindung wird ein kontinuierlicher Draht 16 für das Weben montiert. Der Draht 16 wird dann in den Webrahmen 26 hineingezogen und je nach Erfordernis verwoben. Im Anschluß an das Weben wird der Draht bzw. werden die Drähte 16 in dem Rahmen 22 positioniert und an den Knotenpunkten bzw. Schnittpunkten 14 der Drahtsegmente 12 miteinander verbunden, typischerweise verschweißt. Die sich daraus ergebenden Bahnen oder Bögen können dann nach Wunsch verwendet oder nach Erfordernis geformt werden, um ein mehrschichtiges Material herzustellen. Die einzelnen Schritte des Vorgehens gemäß der Erfindung werden weiter unten noch im einzelnen diskutiert.

Beim ersten Schritt des Verfahrens nach der Erfindung werden der Rahmen 22 und die Gleitblöcke 24 montiert. Wie in den Fig. 6 und 7 dargestellt, dienen diese Vorrichtungen dazu, die Drähte bzw. Drahtfilamente 16 vor dem Schweißen unter Spannung und in der richtigen Orientierung zu halten. Im großen und ganzen ist der Rahmen 22 ein flacher Ring 28, der drei Sätze gegenüberliegender Schienen oder Führungen 30 hat, die T-förmige Schlitzes 35 haben. Die Schienen 30 sind unter Winkelabständen bzw. Intervallen von 120° angeordnet. Dieser Winkel ist deshalb so ausgewählt, daß dann, wenn die drei Sätze von Gleitblöcken 24, welche Drähte bzw. Drahtfilamente 16 haben, die sich von diesen erstrecken, in dem Rahmen 22 angeordnet sind, die einander überschneidenden Drahtsegmente 12 eine Vielzahl von gleichseitigen Dreiecken bilden.

Die Gleitblöcke 24 haben jeweils einen ersten Abschnitt 32 mit einer Oberfläche 33, die eine Reihe von parallelen Nuten 34 hat, um die Drähte 16 aufzunehmen und sie präzise an ihrem Platz zu halten. Eine zweite Fläche 37, die auf der sichtbaren Seite jedes der Gleitblöcke 24 angeordnet ist, ist so ausgestaltet, daß sie auf den Ständern 38 des Webrahmens 26 montierbar ist, der im folgenden genauer beschrieben wird. Jeder Gleitblock 24 weist auch einen zweiten Abschnitt 36 auf, der so ausgestaltet ist, daß er auf den ersten Abschnitt 32 paßt. Der zweite Abschnitt 36 ist so bemessen und geformt, daß er in die Drähte eingreift, wenn das unten beschriebene Weben vollendet wird. Die ersten und zweiten Abschnitte 32 und 36 können beispielsweise unter Verwendung von Maschinenschrauben, Bolzen und anderen Befestigungsmitteln verbunden werden, mit denen die Fachleute vertraut sind.

Als nächstes wird der Webrahmen 26, der in Fig. 7 dargestellt ist und der aus drei Ständern 38 auf einer sich drehenden, dreieckigen Plattform 40 besteht, vorbereitet bzw. hergestellt. Jeder Pfosten 38 hat eine Positionierfläche 42, auf welcher die ersten Abschnitte 32 der Gleitblöcke 24 befestigt werden, bevor der Draht 16 in den Webrahmen 26 eingezogen wird. Die Positionierflächen 42 auf den Ständern 38 sind so ausgestaltet, daß sie

die Gleitblöcke 24 sichern, wobei ihre mit Nuten versehenen Oberflächen 33 nach außen gewendet sind. Im Betrieb wird jede der zweiten Flächen 37 der ersten Abschnitte 32 auf den Gleitblöcken 24 in Kontakt mit einer Oberfläche eines der Ständer 38 angeordnet, um den Webrahmen 26 für das Weben vorzubereiten. Die Gleitblöcke 24 können an den Ständern 38 z. B. unter Verwendung von Maschinenschrauben, Bolzen oder anderen Befestigungsmitteln befestigt werden, die den Fachleuten vertraut sind.

Im nächsten Schritt des Verfahrens der Erfindung wird der Webrahmen 26 und damit auch die Ständer 38 gedreht, um so den Draht 16 über die Nuten 34 der Gleitblöcke 24 zu ziehen.

Insbesondere wird der Rahmen 26 so gedreht, daß nach einer Umdrehung der Draht 16 in die nächst tiefere Nut 34 jedes Gleitblockes 24 einläuft. Dieser Vorgang wird fortgesetzt, bis alle Nuten 34 der Gleitblöcke 24 einen Abschnitt des Drahtes 16 enthalten. Während des Webens wird das Drahtfilament 16 vorzugsweise unter einer Zugspannung zwischen etwa 0,05 und 0,2 Unzen [1,4—6 g] gehalten. Wenn man dieses Verfahren durchführt, so wird zwischen allen Ständern 38 ein paralleles Feld des Drahtes bzw. der Drähte 16 gebildet. Wenn der Draht auf dem Webrahmen 26 bzw. dem Spulrahmen in der parallelen Anordnung angeordnet ist, so wird der zweite Abschnitt 36 jedes der Gleitblöcke 24 über jedem der ersten Abschnitte 32 angeordnet. Der Draht 16 wird dann für die weitere Behandlung in seiner Position fixiert. Im Anschluß daran wird der Draht 16 durchtrennt. Genauer gesagt, wird der Draht 16 entlang der Ständer 38 aufgetrennt, indem z. B. ein Schweißbrenner verwendet wird. Dieser Vorgang erzeugt drei unabhängige Abschnitte 46 mit einem Gleitblock 24 an jedem Ende eines Drahtabschnittes 48. Die Gleitblöcke 24 werden dann von den Positionierflächen 42 gelöst und zu dem Rahmen 22 transportiert.

Im nächsten Schritt des Verfahrens nach der Erfindung werden die Gleitblöcke 24 und die Drahtabschnitte 48 auf dem Rahmen 22 montiert und die Drahtabschnitte 48 werden unter Verwendung einer Schmiedepresse miteinander verbunden. Insbesondere werden die Gleitblöcke 24 in den T-Schlitzes 35 der Schienen 30 positioniert. Gleichartige T-Schlitzes 35, Gleitblöcke 24 und Drahtabschnitte 48 werden auf dem Rahmen 22 unter relativen Winkeln von 120° montiert. Eine Anordnung auf diese Art und Weise erzeugt ein trigonales Gitter aus Drahtsegmenten 12, welche die Gestalt einer Vielzahl von gleichseitigen Dreiecken 50 haben. Jedes Dreieck 50 hat mit seinen benachbarten Dreiecken 50 drei Knotenpunkte 14 gemeinsam. Wenn alle Drahtsegmente 12 richtig bzw. ordnungsgemäß orientiert sind, wird eine Schmiedepresse, die den Fachleuten auf diesem Gebiet vertraut ist, verwendet, um Wärme und Druck auf alle Knotenpunkte 14 gleichzeitig auszuüben. Vorzugsweise liefert die Presse einen Druck von etwa 50 Pfund pro Quadratzoll und eine Temperatur von 1250° Fahrenheit. Das Verschweißen der Drahtsegmente 12 erfolgt vorzugsweise unter Vakuum. Sobald alle Knotenpunkte 14 miteinander verbunden sind, kann das daraus hervorgegangene Strukturmaterial 10 aus dem Rahmen 22 und eventuell den Seitenblöcken 24 entfernt werden.

Die Fig. 8A und 8B zeigen Halterahmen 70 und 72, die für ein alternatives Verfahren der Erfindung verwendet werden können, um das Material der Erfindung herzustellen. Gemäß Fig. 8A hat der Halterahmen 70 eine in etwa rechteckige Gestalt. Eine Reihe von Nuten 74

sind in die Oberfläche 76 des Rahmens 70 eingeschnitten. Für die Fachleute ist klar, daß das Maß der Nuten 74 durch das Maß des für den Aufbau des Materials und des Gitters gemäß der Erfindung verwendeten Drahtes bestimmt wird. Die Nuten 74 sind gleichmäßig auf der Oberfläche 76 voneinander beabstandet. Im allgemeinen wird der Trennabstand zwischen den Nuten 74 bestimmt durch die gewünschten Eigenschaften des hergestellten Materials und Gitters. Typischerweise sind die Nuten 74 zwischen etwa 0,03 Zoll und 0,07 Zoll voneinander getrennt [0,75 mm—1,8 mm]. Vorzugsweise sind die Nuten 74 um etwa 0,05 Zoll voneinander getrennt [etwa 1,27 mm]. Die Nuten 74 verlaufen parallel. Ein Schlitz 78 ist in eine Kante 80 des Rahmens 70 eingeschnitten, um Zugang für eine Schweißelektrode (nicht dargestellt) zu gewähren.

Gemäß Fig. 8 hat der Halterahmen 72 eine polygonale Gestalt mit zumindest zwei Seiten 82 und 84, welche unter einem Winkel relativ zueinander angeordnet sind. Der Winkel zwischen den Seiten 82 und 84 des Halterahmens 72 wird derart ausgewählt, daß die Drähte, wenn sie auf dem Rahmen 72 angeordnet sind, unter etwa 60° relativ zu einem auf dem Halterahmen 70 angeordneten Draht ausgerichtet sind. Der Rahmen 72 hat ebenfalls eine Reihe von Nuten 86, die in eine seiner Oberflächen 88 eingeschnitten sind. Auch hier erkennen die Fachleute wiederum, daß das Maß der Nuten 86 durch das Maß des für den Aufbau des Materials und Gitters gemäß der vorliegenden Erfindung verwendeten Drahtes bestimmt wird. Die Nuten 86 sind auf der Oberfläche 88 gleichmäßig voneinander beabstandet. Der Abstand zwischen den Nuten 86 wird bestimmt durch die gewünschten Eigenschaften des hergestellten Materials und Gitters. Typischerweise sind die Nuten um etwa 0,03 Zoll bis etwa 0,07 Zoll [etwa 0,75 mm—1,8 mm] voneinander entfernt. Vorzugsweise sind die Nuten 86 um etwa 0,05 Zoll [etwa 1,27 mm] voneinander entfernt. Die Nuten 86 sind parallel. Ein Flansch 90, der von einer Schraube 92 in seiner Position gehalten wird, erstreckt sich über einen Teil der Oberfläche 88 des Halterahmens 72. Im Gebrauch wirken Flansch 90 und Schraube 92 so zusammen, daß sie die auf dem Rahmen 70 angeordneten Drähte sichern bzw. festhalten.

Zu Beginn eines alternativen Verfahrens gemäß der Erfindung wird ein erster Satz von Drähten in den Nuten 86 des Rahmens 72 angeordnet. Sobald diese angeordnet sind, wird der Flansch 90 über den Drähten angeordnet und unter Verwendung der Schraube 92 befestigt. Als nächstes wird ein Draht in der Nut 74 angeordnet, die der Kante 80 des Rahmens 70 am nächsten liegt. Die ersten und zweiten Rahmen 70 und 72 werden dann in eine Berührungsposition nebeneinander gebracht, so daß die Drähte überlappen und unter einem relativen Winkel von etwa 60° zueinander ausgerichtet sind. Vorzugsweise überlappen die Drähte, die in dem Rahmen 72 gehalten werden, den Draht, der in dem Rahmen 70 gehalten wird. An den Schnittpunkten werden dann die Drähte zusammengeschweißt. Das Verschweißen kann Draht für Draht oder in Gruppen vorgenommen werden, je nachdem wie es gewünscht ist.

Wenn das Verschweißen der Drähte, die in den Rahmen 70 und 72 gehalten werden, vollendet ist, wird der Teil- bzw. Unteraufbau bewegt, so daß der Draht in dem Rahmen 70 nunmehr in der von der Kante 80 aus weiteren bzw. übernächsten Nut ruht. Dann wird ein neuer Draht in der Nut 74 angeordnet, die der Kante 80 am nächsten liegt und der Schweißvorgang beginnt erneut. Auf diese Weise werden aufeinanderfolgende Drähte,

die in dem ersten Rahmen 70 gehalten werden, an den in dem zweiten Rahmen 72 gehaltenen Drähten angebracht. In der nächsten Phase des Verfahrens gemäß der Erfindung wird ein dritter Satz von Drähten an dem Unteraufbau von Drähten angebracht, der nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren hergestellt wurde. Um diesen Zusammenbauvorgang durchzuführen, wird wieder ein Draht in der Nut 74 angeordnet, die der Kante 80 des Rahmens 70 am nächsten liegt. Die ersten und zweiten Rahmen 70, 72 werden wieder in Berührung nebeneinanderliegend bewegt, so daß alle Drähte einander überlappen und unter relativen Winkeln von etwa 60° angeordnet sind. An den Schnittpunkten werden die Drähte dann wieder zusammengeschweißt. Das Verschweißen kann nach Bedarf Draht für Draht oder in Gruppen vorgenommen werden.

Wenn das Schweißen der Drähte beendet ist, wird das Material 10 der Erfindung von den Rahmen entfernt. Das Material 10 kann dann nach Wunsch weiter verarbeitet werden.

Das Strukturmaterial 10, welches unter Verwendung der Verfahren gemäß der Erfindung hergestellt wird, kann isoliert verwendet werden, so wie es in Fig. 1 dargestellt ist. Wahlweise kann das Strukturmaterial auch gewellt oder gefaltet werden, wie es in Fig. 3 dargestellt ist, z. B. unter Verwendung einer Presse, eines Pressenstempels und einer Matrize, oder indem man es durch einen Satz von Sägezahnwalzen laufen läßt, um gewellte bzw. mit Falten versehene Bahnen zu bilden. Vorzugsweise wird die gefaltete bzw. gewellte Ausführungsform des Strukturmaterials 10, welche in Fig. 3 dargestellt ist, dadurch hergestellt, daß das flache Strukturmaterial, welches in Fig. 1 dargestellt ist, durch eine Walzenpresse geschickt wird. Die Walzenpresse hat ein im wesentlichen flaches vorstehendes Teil und ein gekrümmtes zurückspringendes Teil. Das gekrümmte, zurückspringende Teil berührt das flache vorspringende Teil tangential entlang einer einzigen Linie. Im Betrieb wird das Strukturmaterial 10 entlang der Berührungslinie zwischen dem vorspringenden und dem rückspringenden Teil der Presse gebogen. Dieser Aufbau ist bevorzugt, da er es ermöglicht, daß sich das Strukturmaterial 10 zusammenzieht, während es gebogen bzw. geknickt wird.

Das unter Verwendung des Verfahrens gemäß der Erfindung hergestellte Strukturmaterial kann auch verwendet werden, um einen größeren, vielschichtigen Aufbau zu bilden, wie in den Fig. 4 und 5 dargestellt. In dieser Ausführungsform werden abwechselnde Schichten des flachen Strukturmaterials 10 gemäß Fig. 1 mit dem gewellten bzw. gefalteten Strukturmaterial 10 gemäß Fig. 3 verbunden. Um dieses Material zu bilden, werden die Schichten zuerst aufeinander gestapelt, wie in Fig. 4 dargestellt. Als nächstes wird das lose Material 10 in der Schmiedepresse angeordnet und gemäß dem Verfahren verschweißt, welches oben in Verbindung mit dem Verfahren zum Ausbilden eines einzelnen Bogens des Strukturmaterials 10 beschreiben wurde.

Das Folgende ist ein veranschaulichendes, nicht beschränkendes Beispiel des Vorganges zum Herstellen eines Materials nach der Erfindung.

#### Beispiel 1

Zu Beginn des Herstellungsvorganges wurde ein Abschnitt eines Drahtes jeweils in die Nuten eingefügt, welche in die Oberfläche eines zweiten Halterahmens (Fig. 8B) eingeschnitten waren. Ein einzelner Draht wurde in der ersten Nut eines ersten Halterahmens

(Fig. 8A) angeordnet. Die in beiden Rahmen angeordneten Drähte waren aus rostfreiem Stahl hergestellt, hatten einen Durchmesser von 0,008 Zoll [0,2 mm] und waren von All Stainless Co. in Hingham, Massachusetts beschafft worden. Als nächstes wurden unter Verwendung einer geraden Kante die Enden der in dem zweiten Rahmen angeordneten Drähte derart ausgerichtet, daß sich jeder Draht um näherungsweise 0,01 Zoll über die Kante des Rahmens hinaus erstreckte. Die in dem zweiten Rahmen angeordneten Drähte wurden dann mit dem in dem ersten Rahmen angeordneten einzelnen Draht in Kontakt gebracht. Insbesondere waren die Drähte so orientiert, daß die Drähte in dem zweiten Rahmen unter einem relativen Winkel von 60° zu dem Draht in dem ersten Rahmen verliefen.

Beim nächsten Schritt des Vorganges wurde eine Elektrode mit den Drähten in dem zweiten Rahmen und dem einzelnen Draht in dem ersten Rahmen in Kontakt gebracht. Genauer gesagt wurde an jedem Schnittpunkt eine Elektrode derart angeordnet, daß sie einen Druck von fünf (5) Pfund auf jeden Drahtübergang ausübte. Die Elektrode wurde mit einer Stromquelle verbunden, die in der Lage war, einen geregelten Prozentsatz eines Nennstromes im Bereich von einem (1) bis neunzig (99) Prozent in 1%-Stufen bereitzustellen, und zwar für eine geregelte Anzahl von sechzig (60) Hertz-Zyklen (wobei jeder Zyklus näherungsweise 16,7 ms betrug), im Bereich von einem (1) bis siebzig (70) Zyklen in Stufen von einem (1) Zyklus. Unter Verwendung der Stromversorgung wurde ein Strom von 55% des Standardnennstromes während eines (1) Zyklus auf den Schnittpunkt abgegeben. Dieser Vorgang wurde wiederholt, bis alle Schnittpunkte miteinander verschweißt waren. In der abschließenden Phase des Zusammenbauvorganges wurde der Teilaufbau der ersten und zweiten Drähte erneut in dem zweiten Rahmen angeordnet und dann wurde ein dritter Rahmen in dem ersten Rahmen angeordnet. An jedem Schnittpunkt wurde wiederum eine Elektrode in Kontakt mit den Drähten angeordnet, so daß sie einen Druck von fünf (5) Pfund auf jeden Drahtübergang ausübte. Ein Strom von etwa fünfundsechzig (65) Prozent des Standardnennstromes wurde während eines Zyklus unter Verwendung der oben beschriebenen Stromversorgung auf den Schnittpunkt abgegeben. Dieser Vorgang wurde wiederholt, bis alle Schnittpunkte miteinander verschweißt waren. Man erkennt daher, daß die Erfindung in effizienter Weise die vorstehend beschriebenen Ziele erreicht, unter all den übrigen, die aus der vorstehenden Beschreibung offensichtlich sind. Insbesondere stellt die vorliegende Erfindung ein hochfestes Strukturmaterial von geringem Gewicht sowie ein effizientes Verfahren zu seiner Herstellung bereit.

Es versteht sich, daß an dem obigen Aufbau und in den vorstehenden Betriebs- oder Herstellungsabläufen Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Rahmen der Erfindung abzuweichen. Dementsprechend ist beabsichtigt, daß alles, was in der obigen Beschreibung enthalten oder in den zugehörigen Zeichnungen dargestellt ist, nur beispielhaft und nicht in einem beschränkenden Sinne verstanden wird.

Es versteht sich auch, daß die folgenden Ansprüche alle der hier beschriebenen Erfindung innewohnen und spezielle Merkmale abdecken soll und ebenso auch alle Feststellungen des Rahmens oder Schutzzumfangs der Erfindung, die aufgrund der Ausdrucksweise dazwischenliegen könnten.

In Fig. 9 ist ein Ausschnitt aus einem ebenen Gitter dargestellt, in welchem drei Gruppen von Drähten 1, 2

und 3 jeweils untereinander parallel ausgerichtet sind, wobei die Gruppen 2 und 3 sich unter einem Winkel von etwa 40° schneiden und mit der dritten Gruppe 1 beide jeweils einen Winkel von etwa 70° einschließen.

Wenn aus dieser Gruppe ein Falzgitter hergestellt wird, verlaufen die Faltlinien vorzugsweise entlang der ersten Gruppe 1 von Drähten, wobei dann die zweiten und dritten Gruppen 2, 3 von Drähten eine Pyramidenstruktur bilden.

In Fig. 10 ist die Wirkung des Faltvorganges auf die Struktur in den oberen und unteren Ebenen 4, 4' eines gefalteten Gitters dargestellt.

Zunächst zeigt Fig. 10 unten links ein ebenes Gitter, welches aus gleichseitigen Dreiecken aufgebaut ist.

Die Drähte 1, 1' aus einer der Gruppen von parallelen Drähten werden als Faltlinien ausgewählt. Das Falten kann mit Hilfe von Walzen, Biegevorrichtungen oder Pressen vorgenommen werden. Oben links in Fig. 10 ist eine Seitenansicht des gefalteten Gitters schematisch wiedergegeben. Die Drähte 1 definieren eine obere Gitterebene 4 und die Drähte 1' definieren eine untere Gitterebene 4'. Eingezeichnet ist in Fig. 10 oben links auch noch der Faltwinkel  $\alpha$ , der definiert ist als der Winkel zweier sich schneidender Ebenen, wobei die Ebenen sich in einer der Faltlinien schneiden und durch je eine der nächst benachbarten Faltlinien der anderen Ebene hindurchverlaufen.

Rechts in Fig. 10 ist das gefaltete Gitter in einer Draufsicht von oben dargestellt. Für einen besseren Vergleich mit dem ebenen Gitter sind vier Gitterpunkte auf Drähten 1, welche die obere Ebene 4 definieren, in dem ebenen Gitter durch Einkreisungen hervorgehoben. Dieselben eingekreisten Gitterpunkte erkennt man auch rechts im gefalteten Gitter, wobei sich ihr Abstand in Richtung der Faltlinien 1 nicht verändert hat, wohl aber der Abstand senkrecht zu den Faltlinien 1, 1'. Konkret hängt dieser horizontale Abstand im gefalteten Gitter nur vom Faltwinkel  $\alpha$  ab. Bei einem ebenen Gitter, welches aus gleichseitigen Dreiecken aufgebaut ist und welches eine hexagonale Struktur hat, kann man mit einem Faltwinkel  $\alpha$  von etwa 51,3° erreichen, daß der in Fig. 10 mit a bezeichnete horizontale Abstand der Gitterpunkte, d. h. der Abstand benachbarter Faltlinien derselben Ebene 4 bzw. 4', gleich dem Abstand b der Gitterpunkte entlang der Faltlinien 1, 1' wird. Ein solcher Fall ist in Fig. 11 dargestellt.

In Fig. 11 erkennt man, daß nach dem Falten um den bevorzugten Winkel die Knotenpunkte der oberen Gitterebene ein Quadratgitter bilden und daß auch die an einigen Punkten durch Kreise gekennzeichneten Knotenpunkte der unteren Gitterebene ein identisches Quadratgitter bilden. Zur besseren Verdeutlichung der räumlichen Struktur sind die Faltlinien der unteren Gitterebene nur gestrichelt eingezeichnet und die Faltlinien der oberen Gitterebene, ebenso wie die Seitenkanten der sich bildenden Pyramiden, sind mit durchgezogenen Linien gezeichnet.

Der in Fig. 11 mit 5 eingezeichnete Bereich ist in Fig. 12 nochmals in perspektivischer Darstellung wiedergegeben. Man erkennt in Fig. 12 insgesamt zwölf Pyramiden, deren Spitzen durch die Drähte 1 miteinander verbunden sind, während die Drähte 1' der unteren Ebene 4' jeweils parallele Seitenkanten der unteren Ebenen der Pyramiden definieren. In dieser Form ist die Struktur nur in einer Richtung biegesteif und hat einen hohen Widerstand gegen ein Verbiegen um eine Achse, die in der Ebene 4 oder 4' senkrecht zu den Faltlinien verläuft. Gegenüber einem Verbiegen um eine Achse



parallel zu den Faltlinien, setzt ein solches Gitter zunächst jedoch noch wenig Widerstand entgegen, da an den Pyramiden noch die in Fig. 12 horizontal verlaufenden unteren Kanten dieser Pyramiden fehlen. Nimmt man jedoch ein identisches gefaltetes Gitter, verdreht es gegenüber dem in Fig. 11 und 12 dargestellten um 90° und setzt es anschließend auf das erste Gitter auf, so verlaufen dessen Faltlinien genau senkrecht zu den Faltlinien 1, 1' des dargestellten Gitters und die beiden Gitter können relativ zueinander so angeordnet werden, daß die Knotenpunkte, welche die Spitzen bzw. unteren Ecken der Pyramiden bilden, genau aufeinander fallen. Werden die Gitter in dieser Form zusammengeschweißt, so werden die Spitzen oder Fußpunkte der Pyramiden auch in horizontaler Richtung miteinander verbunden und bilden dann eine sehr verwindungssteife Struktur. Dabei können mehrere derartige Lagen abwechselnd um 90° gegeneinander versetzt aufeinander geschweißt werden. An der jeweils untersten Lage kann entweder ein einfaches ebenes Quadratgitter mit demselben Rastermaß wie es die Pyramidenfußpunkte haben, aufgeschweißt werden, oder es kann auch nur eine einfache Gruppe von parallel gespannten Drähten, welche senkrecht zu den Faltlinien 1' verlaufen und denselben Abstand voneinander haben wie die Faltlinien 1' (und damit auch wie die unteren Eckpunkte der Pyramiden) an die untere Ebene 4' in den Knotenpunkten angeschweißt werden.

Dasselbe geschieht selbstverständlich auch mit den Pyramidenspitzen der obersten Lage eines solchen Blockgitters, welches aus mehreren Lagen zusammengesetzt wird, wobei die bereits in einer Richtung über die Drähte 1 miteinander verbundenen Spitzen der Pyramiden auch noch horizontal durch ein Quadratgitter oder eine entsprechende Gruppe paralleler Drähte miteinander verbunden werden. Im übrigen ist darauf hinzuweisen, daß die unteren Eckpunkte jeder der Pyramiden gleichzeitig auch Spitzen auf dem Kopf stehender Pyramiden bilden, wie man anhand der Fig. 12 auch leicht flachvollziehen kann. Das Verbinden der Pyramidenspitzen ist dementsprechend ein zu dem Verbinden der unteren Eckpunkte der Pyramiden völlig äquivalenter Vorgang.

Wenn mehrere Schichten derartiger gefalteter Gitter miteinander verbunden werden, kommt es selbstverständlich auf eine exakte Ausrichtung aller Gitterpunkte an, so daß die Knotenpunkte in den aneinanderliegenden Ebenen 4, 4' benachbarter Faltgitter exakt aneinander liegen. Entsprechend genau muß vorher das Falten der Gitter erfolgen. Wenn die beiden Gitter exakt miteinander ausgerichtet sind, kann im Falle von nur zwei Gittern das Verschweißen noch durch eine Schmiedepresse erfolgen, die jeweils von einer Seite der Gitter her in die Pyramidenspitzen eingreift. Bei Aufbauten aus mehreren Schichten ist jedoch eine solche Arbeitsweise nicht ohne weiteres möglich. Wenn aber die Gitter sehr exakt gefertigt sind und passend genau aufeinanderliegen, kann das Verschweißen auch dadurch erfolgen, daß großflächige Elektroden auf die beiden Außenseiten der Gitter aufgelegt werden, durch die dann ein passender Stromstoß hindurchgeschickt wird, so daß die beiden Gitter an ihren Übergangsstellen, die einen größeren elektrischen Widerstand definieren als das übrige Material, miteinander verschweißt werden.

Selbstverständlich sind auch maschinelle Verbindungstechniken, wie es zum Beispiel von der Kontaktierung von Halbleiterchips, z. B. mit Golddrähten, bekannt sind, verwendet werden.

Statt eines oder mehrerer ebener Gitter oder zusätzlich zu diesen können auf die Pyramidenspitzen und -Fußpunkte der gefalteten Gitter selbstverständlich auch Platten oder Folien aufgeschweißt oder geklebt werden. Dies gilt insbesondere für die äußersten Schichten ein- oder mehrlagiger Gitter. Das erfindungsgemäße Strukturmaterial kann dann auch für gas- und flüssigkeitsdichte Trennwände oder Behälter verwendet werden.

Ebenso können auch die Zwischenräume des Gitters unabhängig von oder zusätzlich zu der Flächenabdeckung ausgefüllt werden, z. B. mit einem Kunstharz oder anderen fließfähigen, vorzugsweise aushärtbaren Stoffen.

#### Patentansprüche

1. Gitteraufbau aus Drähten, insbesondere aus dünnen Drähten, welcher eine erste, eine zweite und eine dritte Gruppe von kontinuierlichen Drahtabschnitten aufweist, wobei die Drahtabschnitte an ihren Schnittpunkten miteinander verschweißt sind, zumindest zwei der ersten, zweiten oder dritten Gruppe von Drahtsegmenten unter einem Winkel von näherungsweise 60° relativ zu der anderen Serie angeordnet sind, wobei die ersten, zweiten und dritten Gruppen von Drahtsegmenten miteinander befestigt bzw. fixiert sind, so daß sie ein durchgehendes Feld aus trigonalen Strukturen bilden, wobei die trigonalen Strukturen in Form einer Serie von gleichseitigen Dreiecken vorliegen.

2. Drahtgitter nach Anspruch 1, wobei die ersten, zweiten und dritten Serien von Drahtsegmenten aus einem Material gebildet sind, welches aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus Messing, rostfreiem Stahl und EDM-Draht bestehen.

3. Drahtgitter nach Anspruch 2, wobei das Material, welches die ersten, zweiten und dritten Serien von Drahtsegmenten bildet, einen Durchmesser zwischen etwa 0,005 Zoll und etwa 0,01 Zoll [0,125 mm—2,5 mm] hat.

4. Drahtgitter nach Anspruch 3, wobei das Material, welches die erste, zweite und dritte Serie von Drahtsegmenten bildet, einen Durchmesser von ungefähr 0,008" [0,2 mm] hat.

5. Drahtgitter nach Anspruch 1, wobei der Abstand zwischen den Schnittpunkten der ersten, zweiten oder dritten Serie von Drahtsegmenten zwischen etwa 0,01 Zoll und 0,1 Zoll liegt [zwischen 0,25 mm und 2,5 mm].

6. Verfahren zum Herstellen eines Gitters aus Drähten, insbesondere aus dünnen Drähten, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- a) Bereitstellen eines Rahmens, wobei der Rahmen eine ringförmige Gestalt und zumindest drei Sätze von gegenüberliegenden Schienen hat, wobei jede dieser Schienen so bemessen und geformt ist, daß sie einen Gleitblock aufnehmen kann, wobei die Sätze und die gegenüberliegenden Schienen unter relativen Winkeln zueinander von 120° angeordnet sind,
- b) Bereitstellen der Gleitblöcke, wobei die Gleitblöcke einen ersten Abschnitt haben, welcher eine Reihe von parallelen Nuten auf einer ersten Fläche aufweisen, sowie einen zweiten Abschnitt, der so ausgestaltet ist, daß er in Eingriff mit der ersten Fläche des ersten Abschnittes treten kann,

- c) Bereitstellen eines Webrahmens, wobei der Webrahmen zumindest drei mit Nuten versehene Ständer auf einer sich drehenden, trigonalen Plattform aufweist, wobei die Ständer Positionierflächen aufweisen, die so ausgelegt sind, daß sie einen der jeweiligen ersten Abschnitte der Seitenblöcke fest gesichert aufnehmen, 5
- d) Ziehen eines feinen Drahtfilamentes in den Webrahmen und in die Nuten in der ersten Fläche des ersten Abschnittes der Gleitblöcke, 10
- e) Befestigen des Drahtes in den Gleitblöcken durch Anordnen des zweiten Abschnittes der Gleitblöcke in Eingriff mit den ersten Flächen der ersten Abschnitte der Gleitblöcke und Abtrennen der Drähte neben den Gleitblöcken, 15
- f) Befestigen der Gleitblöcke an den gegenüberliegenden Sätzen von Schienen an dem Rahmen, um so eine Drahtmatrix aus den Drahtfilamenten zu bilden, wobei die Gleitblöcke an dem Rahmen derart montiert werden, daß die Drähte, die an dem Rahmen befestigt sind, sich unter Winkeln von näherungsweise 120° schneiden, wobei die Drähte ein Feld von gleichseitigen, trigonalen Aufbauten bilden, und 20
- g) Zusammenschweißen der Drähte, um so das Drahtgitter zu bilden, welches eine flache Gestalt hat. 25
7. Verfahren nach Anspruch 6, welches weiter den Schritt aufweist, daß das Drahtgitter gebogen wird, um ein Drahtgitter zu bilden, welches eine gewellte- bzw. in Falten gelegte Gestalt hat. 30
8. Verfahren nach Anspruch 7, welches weiterhin den Schritt aufweist, daß ein erster Abschnitt eines Drahtgitters, welches die flache Gestalt hat auf eine Seite eines Drahtgitters aufgeschweißt wird, welche die gewellte bzw. gefaltete Gestalt hat. 35
9. Verfahren nach Anspruch 8, welches weiterhin den Schritt aufweist, daß ein zweiter Abschnitt des Drahtgitters, welches den flachen Aufbau hat, auf eine zweite Seite des Drahtgitters aufgeschweißt wird, welches die gewellte bzw. gefaltete Gestalt hat, wobei die zweite Seite des Drahtgitters, welche die gewellte Gestalt hat, gegenüber der ersten Seite des Drahtgitters liegt, welches die gewellte Gestalt hat. 40
10. Verfahren zum Herstellen eines Drahtgitters, wobei das Verfahren die Schritte aufweist: 45
- a) Bereitstellen eines ersten Rahmens, wobei der erste Rahmen eine Reihe von Nuten für die Aufnahme einer ersten Gruppe von feinen Drähten hat, 50
- b) Bereitstellen eines zweiten Rahmens, wobei der zweite Rahmen eine Reihe von Nuten für die Aufnahme einer zweiten Gruppe von feinen Drähten hat, 55
- c) Anordnen einer Gruppe von Drähten in den Nuten des zweiten Rahmens und Befestigen dieser Gruppe von Drähten in ihrer Position, 60
- d) Anordnen eines Drahtsegmentes in einer Nut des ersten Rahmens,
- e) Bewegen der ersten und zweiten Rahmen in Anlage miteinander, so daß die Gruppen von Drähten in dem zweiten Rahmen unter einem relativen Winkel von 60° zu dem Drahtsegment in dem ersten Rahmen ausgerichtet sind, 65
- f) Verschweißen der Gruppe von Drähten in

- dem zweiten Rahmen mit dem Drahtsegment in dem ersten Rahmen,
- g) kontinuierlich es Einlegen von Drahtsegmenten in den ersten Rahmen und Anschweißen des Drahtsegmentes an die Gruppe von Drähten in dem zweiten Rahmen, um so einen Unteraufbau aus verschweißten Drähten zu bilden,
- h) Anordnen des Unteraufbaus aus verschweißten Drähten in dem zweiten Rahmen, wobei der Unteraufbau eine Gruppe von Drähten aufweist, die in dem zweiten Rahmen gehalten werden und die Drahtsegmente, die in dem ersten Rahmen gehalten wurden,
- i) Anordnen eines Drahtsegmentes in dem ersten Rahmen,
- j) Verschweißen des Teilaufbaus von Drähten mit dem in dem ersten Rahmen angeordneten Drahtsegment,
- k) kontinuierlich es Einsetzen von Drahtsegmenten in dem ersten Rahmen und Verschweißen dieses Drahtsegmentes mit dem Teilaufbau aus verschweißten Drähten, um so das Drahtgitter zu bilden, welches eine flache Gestalt hat,
- l) Abnehmen des Drahtgitters von dem ersten und zweiten Rahmen.
11. Verfahren nach Anspruch 10, welches weiterhin den Schritt aufweist, daß das Drahtgitter gebogen wird, um dadurch ein Drahtgitter zu bilden, welches eine gewellte bzw. gefaltete Gestalt hat.
12. Verfahren nach Anspruch 11, welches weiterhin den Schritt aufweist, daß ein erster Abschnitt eines Drahtgitters, welches die flache Gestalt hat, auf einer Seite des Drahtgitters angeschweißt wird, welches die gewellte bzw. gefaltete Gestalt hat.
13. Verfahren nach Anspruch 12, welches weiterhin den Schritt aufweist, daß ein zweiter Abschnitt des Drahtgitters, welches die flache Gestalt hat, auf einer zweiten Seite des Drahtgitters angeschweißt wird, welches die gewellte Gestalt hat, wobei die zweite Seite des Drahtgitters, welches die gewellte Gestalt hat, gegenüber von der ersten Seite des Drahtgitters mit der gewellten Gestalt angeordnet ist.
14. Drahtgitter mit mehreren Gruppen paralleler Drähte, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter mindestens drei Gruppen jeweils untereinander paralleler Drähte aufweist, daß die Drähte verschiedener Gruppen einen Winkel von mindestens 10° und höchstens 90° miteinander einschließen, und daß die Drähte an ihren Überkreuzungspunkten miteinander verschweißt sind.
15. Gitter nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstände zwischen den Drähten innerhalb jeder Gruppe und die relativen Winkel zwischen Drähten verschiedener Gruppen so gewählt werden, daß durch jeden Kreuzungspunkt je ein Draht aus jeder der drei Gruppen verläuft.
16. Drahtgitter nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter zieharmonikaartig gefaltet ist.
17. Drahtgitter nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Faltlinien entlang paralleler Reihen von Kreuzungspunkten verlaufen.
18. Drahtgitter nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Faltwinkel und die Länge der umgefalteten Abschnitte, gemessen senkrecht zu

den Faltlinien, so gewählt werden, daß das Rastermaß von in einer Ebene des gefalteten Gitters liegenden Kreuzungspunkten mit dem Rastermaß der Kreuzungspunkte eines ebenen, ungefalteten Gitters übereinstimmt.

19. Gitter nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Rastermaß der Kreuzungspunkte in einer Ebene eines gefalteten Gitters zu dem Rastermaß der Kreuzungspunkte eines ebenen, ungefalteten Gitters im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen steht.

20. Drahtgitter nach Anspruch 16 oder einem der auf Anspruch 16 rückbezogenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem ebenen, noch ungefalteten Gitter der Winkel zwischen je zwei Drähten aus verschiedenen Gruppen  $60^\circ$  beträgt, daß die Faltlinien entlang der Drähte aus einer Gruppe von parallelen Drähten verlaufen und daß der Faltwinkel in etwa  $51,3^\circ$  beträgt, so daß der Abstand von Kreuzungspunkten auf einer Faltlinie gleich dem Abstand benachbarter Faltenberge bzw. -täler untereinander ist.

21. Verfahren zur Herstellung eines Drahtgitters, dadurch gekennzeichnet, daß drei Gruppen paralleler Drähte übereinandergelegt oder miteinander verwoben werden, wobei die Drähte einer Gruppe mit den Drähten einer anderen Gruppe einen Winkel von mindestens  $10^\circ$  und höchstens  $90^\circ$  einschließen und wobei die Drähte der verschiedenen Gruppen an ihren Kreuzungspunkten miteinander verschweißt werden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung der Drähte so erfolgt, daß jeder Kreuzungspunkt drei Drähte, und zwar jeweils einen aus jeder der verschiedenen Gruppen aufweist.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Drahtgitter zieharmonikaartig gefaltet wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Gitter, die entweder eben oder gefaltet sind, in mehreren Lagen übereinander gelegt und an mindestens einem Teil ihrer Berührungspunkte miteinander verschweißt werden.

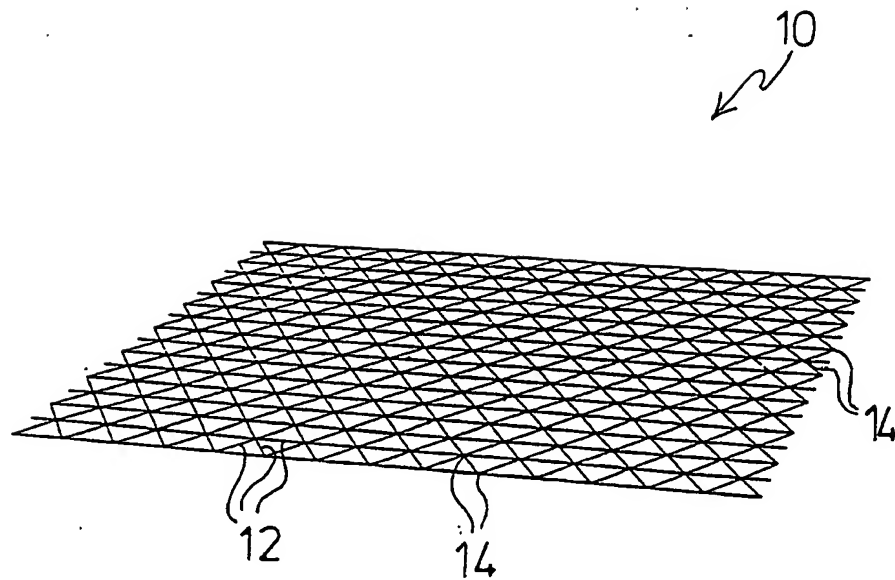
25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß zwei gefaltete Gitter mit einer um  $90^\circ$  gegeneinander verdrehten Faltenausrichtung miteinander verbunden werden, vorzugsweise durch Verschweißen.

---

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

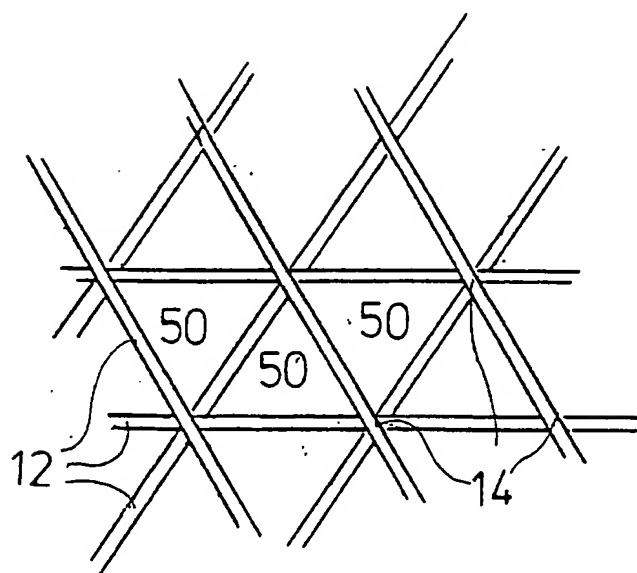
---

- Leerseite -

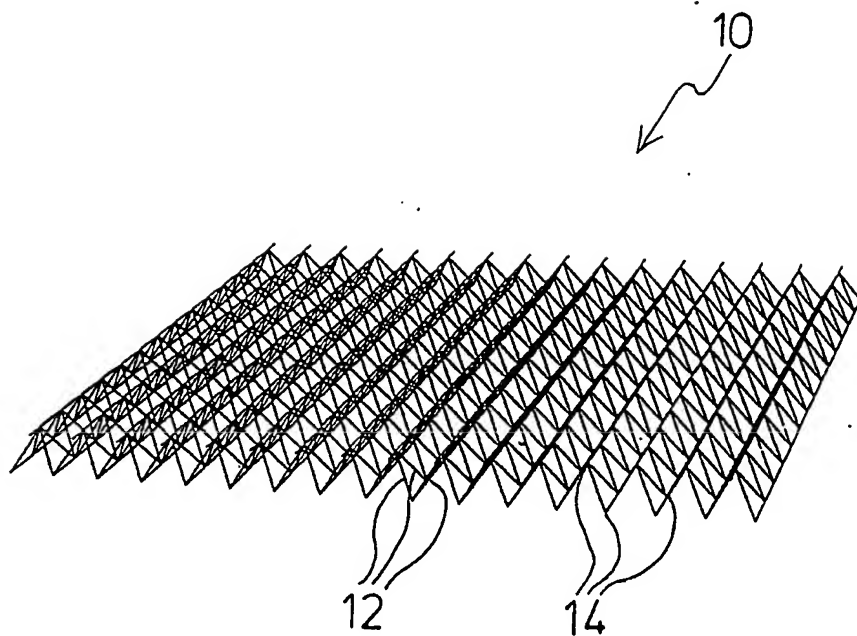


**Fig. 1**

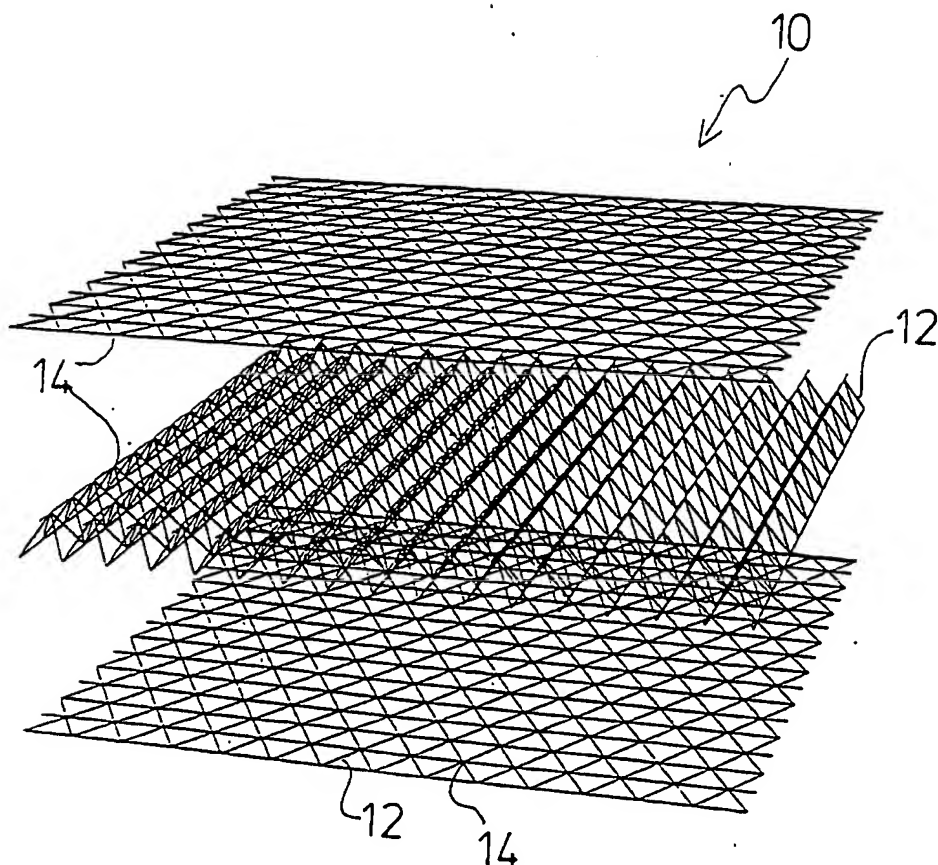




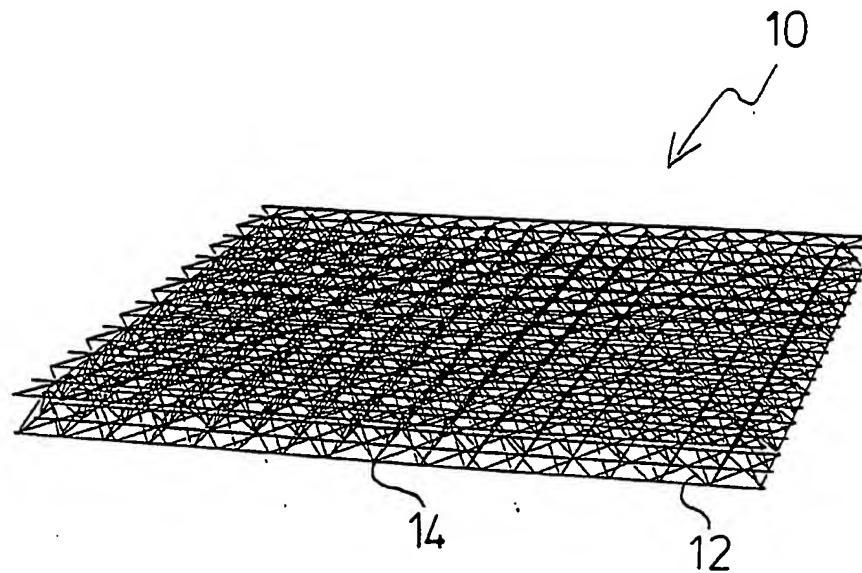
**Fig. 2**



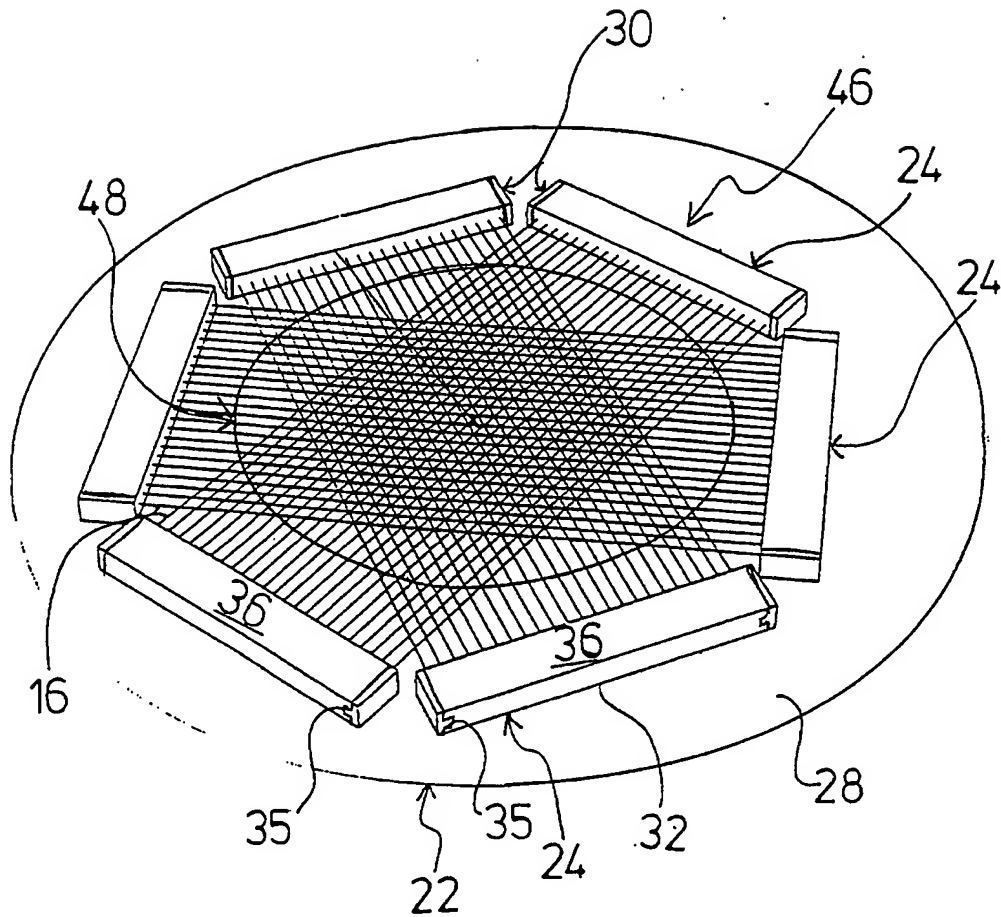
**Fig. 3**



**Fig. 4**

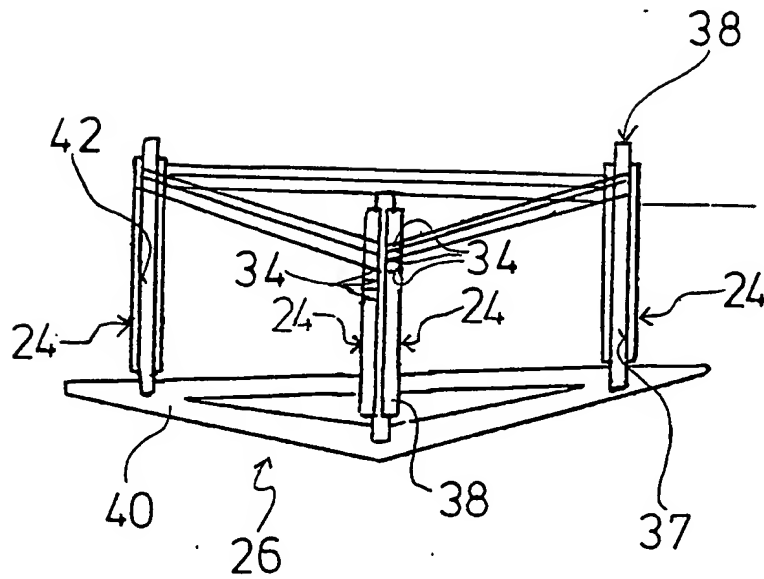


**Fig. 5**

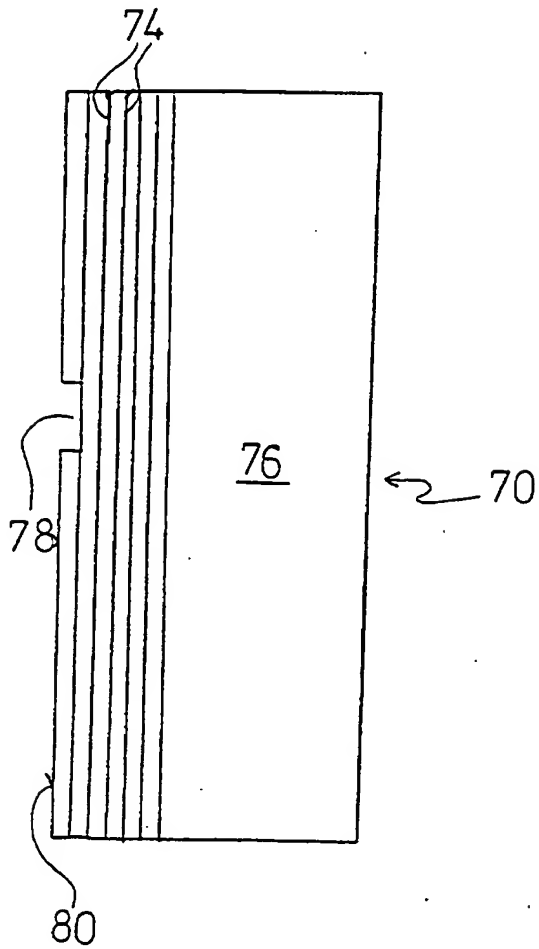


**Fig. 6**

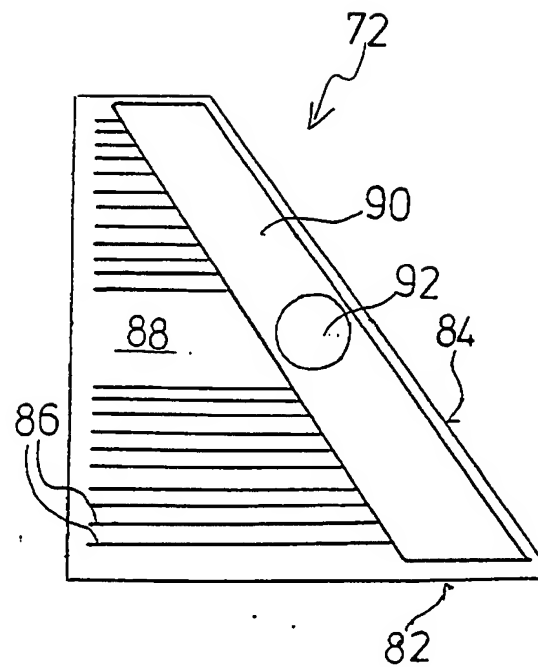




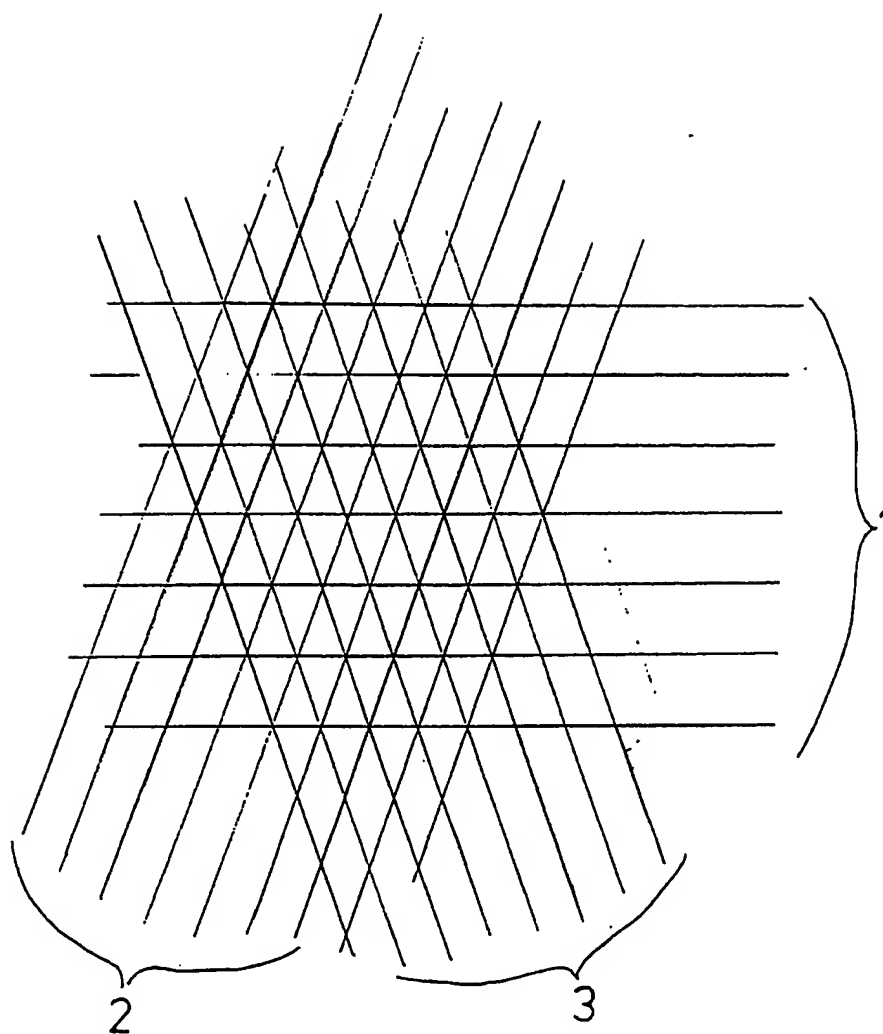
**Fig. 7**



**Fig. 8A**

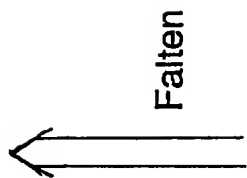
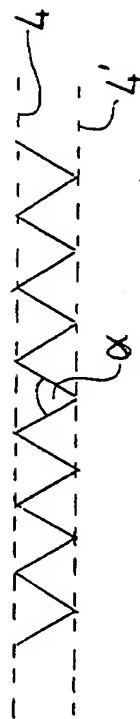


**Fig. 8B**

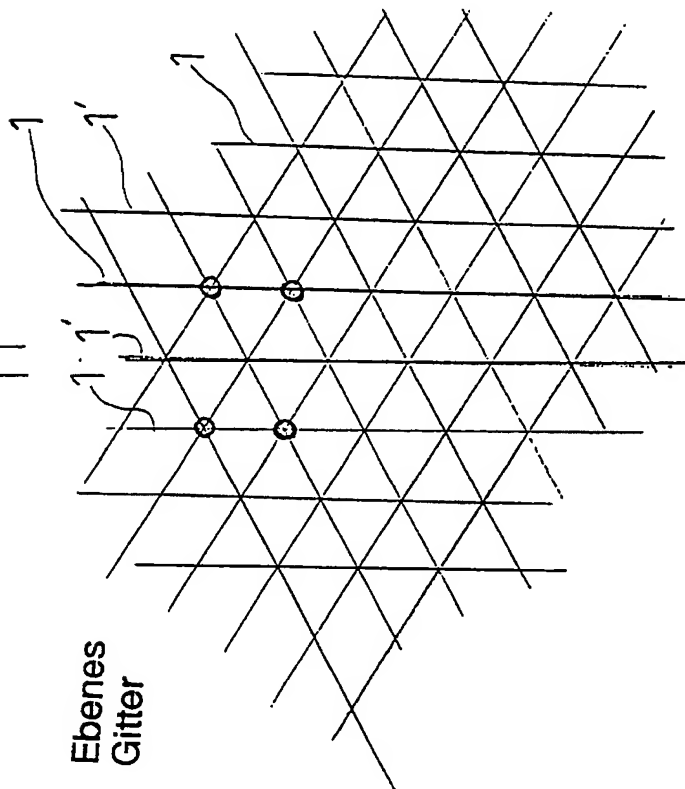


**Fig. 9**

**Fig. 10**

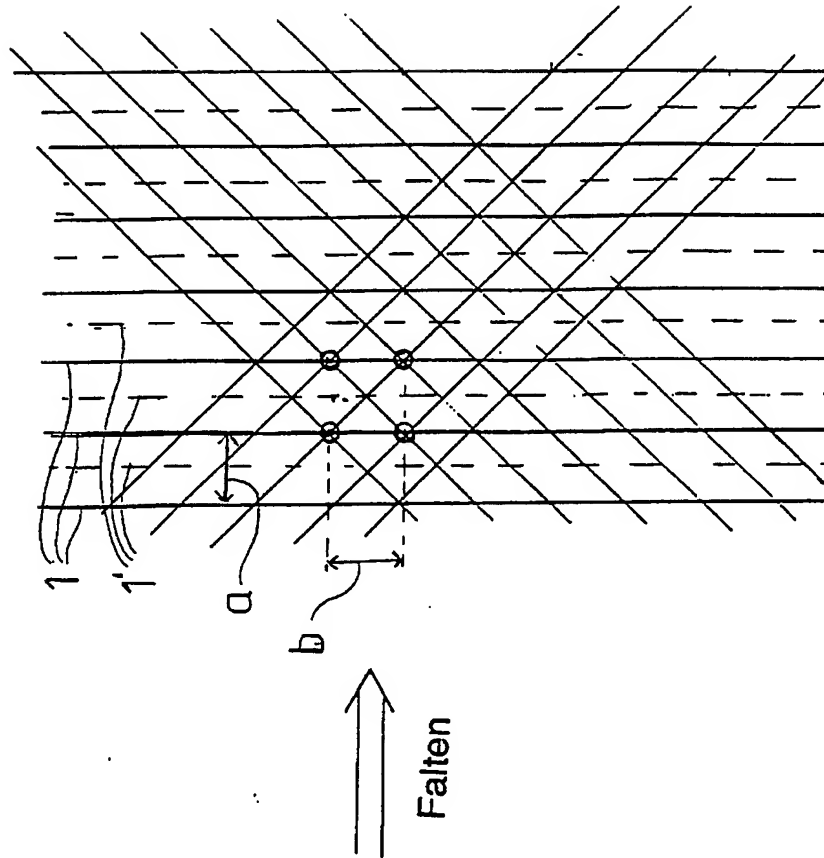


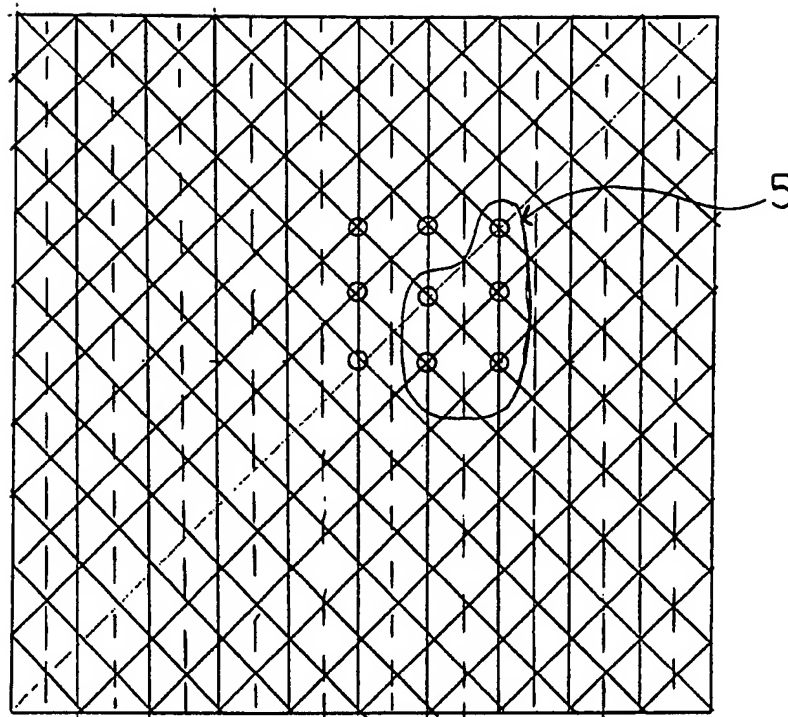
Ebenes  
Gitter



Falten

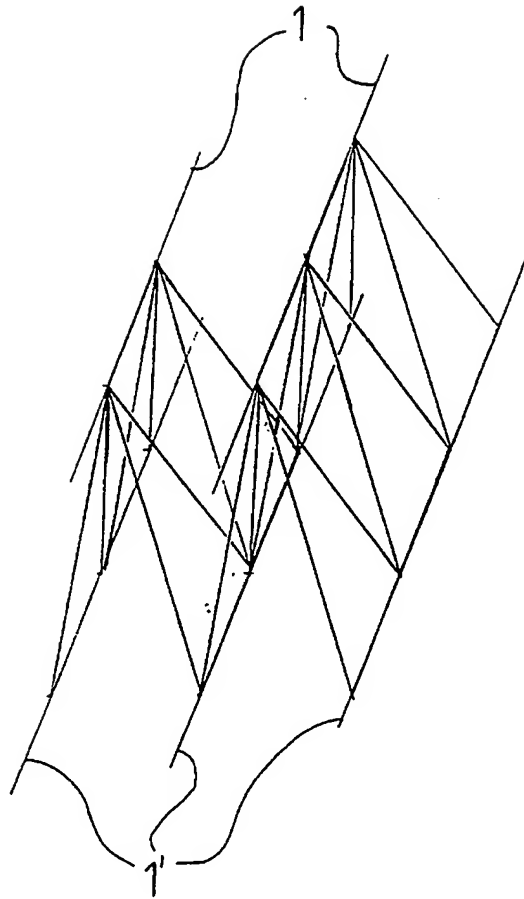
Gefaltetes  
Gitter





**Fig. 11**





**Fig. 12**